

홍수피해발생 잠재위험도와 기왕최대강수량을 이용한 설계빈도의 연계

Risk of Flood Damage Potential and Design Frequency

박석근* · 이건행** · 경민수*** · 김형수****

Park, Seok Geun · Lee, Keon Haeng · Kyung, Min Soo · Kim Hung Soo

Abstract

The Potential Flood Damage (PFD) is widely used for representing the degree of potential of flood damage. However, this cannot be related with the design frequency of river basin and so we have difficulty in the use of water resources field. Therefore, in this study, the concept of Potential Risk for Flood Damage Occurrence (PRFD) was introduced and estimated, which can be related to the design frequency. The PRFD has three important elements of hazard, exposure, and vulnerability. The hazard means a probability of occurrence of flood event, the exposure represents the degree that the property is exposed in the flood hazard, and the vulnerability represents the degree of weakness of the measures for flood prevention. Those elements were divided into some sub-elements. The hazard is explained by the frequency based rainfall, the exposure has two sub-elements which are population density and official land price, and the vulnerability has two sub-elements which are undevelopedness index and ability of flood defence. Each sub-elements are estimated and the estimated values are rearranged in the range of 0 to 100. The Analytic Hierarchy Process (AHP) is also applied to determine weighting coefficients in the equation of PRFD. The PRFD for the Anyang river basin and the design frequency are estimated by using the maximum rainfall. The existing design frequency for Anyang river basin is in the range of 50 to 200. And the design frequency estimation result of PRFD of this study is in the range of 110 to 130. Therefore, the developed method for the estimation of PRFD and the design frequency for the administrative districts are used and the method for the watershed and the river channel are to be applied in the future study.

Keywords : PFD, potential risk, flood frequency, maximum rainfall

요 지

현재 홍수피해에 대한 잠재성은 홍수피해잠재능(PFD)에 의해 나타나고 있으나 하천유역의 설계빈도와 연계성이 없어 실무에서 이용하는데 어려움이 있다. 따라서 본 연구에서는 홍수피해발생 잠재위험도라는 개념을 도입하고 그 산정방안을 마련하여 산정된 잠재위험도와 설계빈도와 연계성을 제시하였다. 홍수피해발생 잠재위험도는 위험성, 노출성, 취약성의 세가지 세부요소로 산정되며, 위험성은 홍수사상의 발생확률, 노출성은 자산 등이 특정 홍수사상 혹은 홍수재해에 노출되어 있는 정도, 취약성은 홍수에 대비한 시설들의 취약 정도를 나타낸다. 이 세부요소들은 또 다시 세부요소를 가지며 위험성은 지속기간별 빈도별 확률강우량등으로 표현가능하고, 노출성은 인구밀도와 공시지가, 취약성은 지역나후도지수와 홍수방어능력지수를 세부요소로 선정하였다. 홍수피해발생 잠재위험도 산정식의 가중계수를 결정하기 위해서 전문가의 의견을 통한 계층분석과정(AHP)기법을 이용하였다. 안양천 유역에 대하여 홍수피해발생 잠재위험도를 산정하였고, 잠재위험도와 기왕최대강수량을 이용하여 시·군·구 단위로 설계빈도를 산정할 수 있었다. 안양천의 기존 설계빈도는 본류구간에서는 200년, 지류구간에서는 50년에서 100년사이로 정하고 있으나, 본 연구에서는 안양천유역 전체에 대하여 설계빈도를 약 110년에서 130년정도로 결정하였다. 따라서 본 연구에서 개발한 기법을 이용하여 행정구역단위의 설계빈도를 제시할 수 있었으며, 이는 향후 유역별 및 하천별로도 잠재위험도와 설계빈도를 산정할 수 있을 것으로 사료된다.

핵심용어 : PFD, 잠재위험도, 설계빈도, 기왕최대강수량

1. 서 론

우리나라 도시지역은 해방이후 근대화의 과정에 있어서 제

계적인 발전보다는 빠르게 선진국의 대열에 들어서기 위해 매우 급격한 발전을 통해 건설되었다. 이로 인하여, 토지이용은 고도로 집적화되고 인구는 과밀(過密)화되어 홍수 등의

*한국건설기술연구원 수자원연구부 연구원(E-mail : skpark@kict.re.kr)

**정회원 · 인하대학교 환경토목공학부 박사과정(E-mail : ggun@inha.ac.kr)

***정회원 · 인하대학교 환경토목공학부 박사과정(E-mail : gigatg@inha.ac.kr)

****정회원 · 인하대학교 환경토목공학부 교수(E-mail : sookim@inha.ac.kr)

재해에 노출성이 증가되었으며 피해에 취약할 수밖에 없었다. 이후에, 산림녹화, 댐건설, 배수로 정비, 홍수에경보 시스템의 구축 등의 방법을 통하여 홍수 등에 의한 피해를 경감시키고자 부단한 노력을 경주하여 왔다. 그럼에도 불구하고 도시지역의 홍수피해는 갈수록 증가하고 있는데 이는 도시화와 개발의 가속화로 인해 홍수피해 잠재성이 증가하고, 기후변화에 따른 기상이변 등의 영향으로 생각되어진다. 또한 증가되는 홍수량을 제방과 댐, 그리고 하천만이 부담하기에는 한계가 있어왔고, 이러한 한계를 극복하고자 홍수량의 유역분담을 추구할 수 있는 유역종합치수계획이 수립되기에 이르렀다. 유역종합치수계획을 수립하기 위해서는 홍수피해잠재능(Potential Flood Damage, PFD)을 산정한 후, 그 결과를 이용하여 치수안전도를 결정하고 홍수에 취약한 지역을 구분하고 있다. 그러나 치수안전도를 결정하기 위하여 이용되고 있는 PFD는 설계빈도와 같은 확률빈도와외의 연계성이 없다는 문제점이 있다.

우리나라는 하천등급별로 하천의 빈도를 규정하고 있는데 이는 바로 해당 하천의 치수안전도를 의미한다고 볼 수 있다. 즉, 통상적으로 홍수빈도를 가지고 하천의 치수안전도를 규정하고 있다는 것이다. 그러나 최근의 연구들을 보면 치수사업이나 홍수 또는 지역적 특성등에 따라 치수안전도의 개념이나 산정을 다른 시각에서 보고자하며 연구를 수행하고 있는 것으로 판단된다(건설교통부, 1999, 2001, 2002a; 한국수자원공사, 2001; 박호상 등, 2003, 안재현 등, 2005). 따라서 우리나라에서 수행하고 있는 연구와 외국의 사례들을 조사 검토하여 치수사업과 홍수특성 또는 대상에 따른 치수안전도의 정의와 개념을 정립할 필요가 있을 것으로 사료된다. 그리고 홍수피해발생 잠재위험도라는 개념은 사실상 아직 정립이 되어 있지 않으나 건설교통부(2000)의 수자원장기종합계획에서 홍수피해잠재능(Potential Flood Damage, PFD)이라는 개념을 도입하여 홍수피해발생에 따른 피해 잠재성의 정도를 지역별로 제시하였으며, 이에 대한 연구도 수행하여 오고 있다(정성원 등, 2001; 건설교통부, 2001; 김정훈과 김영오, 2003). 본 연구에서는 설계빈도와외의 연계성이 없는 PFD의 문제점을 개선하기 위하여 홍수피해발생 잠재위험도가 설계빈도와 연계성을 가질 수 있도록 하는 방법론을 제안하고 분석을 수행하고자 한다.

2. 홍수피해발생 잠재위험도 산정기법

2.1 홍수피해발생 잠재위험도 산정방법

Kron(2002)은 홍수 위험도(R_p)를 위험성(Hazard, P), 노출성(Exposure, E), 그리고 취약성(Vulnerability, V)의 3가지 요소로 표현할 수 있다고 하였다. 본 연구에서 제시하고자 하는 잠재위험도는 Kron(2002)에 의한 홍수위험도의 정의와는 다르나 그 요소를 이용하여 다음과 같이 정의하고자 한다.

$$R_p = f_p(E, V) = \alpha \times E + \beta \times V \quad (1)$$

R_p : 잠재위험도

P : 위험성(홍수사상 또는 발생확률)

E : 노출성

V : 취약성

위의 식에서 위험성 요소는 홍수사상이나 홍수사상의 발생확률을 의미하는 것으로 정의하였다. 즉, 지속기간별 확률강우량이나 홍수사상의 발생확률을 나타낸다. 노출성은 위험성의 세부요소인 홍수사상에 따른 손실의 정도를 나타낸다고 할 수 있다. 그리고 취약성은 홍수방어능력의 부족성을 의미하는데 홍수사상에 따른 홍수방어 부족분을 채우기 위한 구조적 또는 비구조적 대책에 드는 비용을 나타내는 것으로 한다.

따라서 위험성의 세부요소는 홍수사상(확률강우량 또는 홍수사상의 발생확률)으로 표현할 수 있고, 노출성은 홍수사상에 의한 손실의 정도를 표현하기 위해 지역별 공시지가와 인구를 세부요소로 하기로 한다. 또한 취약성은 홍수방어능력의 부족을 의미하는데 이는 지역낙후도 지수와 홍수방어능력(내수방어능력(빗물펌프장), 댐 및 저수지, 외수방어능력(제방 개수율))으로 나타내기로 한다. 세부요소를 산정하기 위한 식은 다음과 같이 결정하였다.

$$E = \alpha_E \times \text{인구밀도지수} + \beta_E \times \text{공시지가지수} \quad (2)$$

$$V = \alpha_V \times \text{지역낙후도지수} + \beta_V \times \text{홍수방어능력지수} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} \text{홍수방어능력지수} &= \alpha_H \times \text{댐및저수지} + \beta_H \times \text{배수펌프장} \\ &+ \gamma_H \times \text{하천개수율} \end{aligned} \quad (4)$$

여기서, α 와 β 는 가중계수를 나타내며, AHP기법을 이용하여 산정할 수 있다.

노출성과 취약성 요소는 0~100까지의 범위를 가지는 지수로 표현하기로 하였고, 이를 위해 각 세부요소들도 일정한 지수로 표현해야 한다.

2.2 홍수피해발생 잠재위험도 세부요소 산정방법

2.2.1 노출성 산정방법

노출성은 공시지가와 인구밀도를 이용하여 산정한다. 노출성의 세부요소들은 0~100까지 지수로 표현하기 위하여 먼저 전국에 대한 자료를 조사하고, 결과를 이용하여 대상유역의 지수들을 산정한다.

공시지가지수를 산정하기 위해서 한국감정평가원에서 1년 단위로 제공하는 표준지 공시지가 수준표(<http://kapanet.co.kr>)를 이용하는데 이는 시도별, 시·군·구별, 동별 단위로 산정되어 있으며, 용도지역을 상업지역, 공업지역, 주거지역, 농경지, 임야, 기타로 나누어 각 지역의 최대값, 최소값, 그리고 중간값을 제공한다. 여기서 표준지 공시지가 수준표의 중간값을 이용하여 그 지역의 공시지가로 이용한다. 표준지 공시지가 수준표가 용도지역별로 제공되기 때문에 공시지가지수를 산정하기 위해서 대상유역의 용도지역별 면적자료가 필요하다. 용도지역별 면적자료는 주거지역, 상업지역, 공업지역, 녹지지역, 미지정 지역으로 구분되어 있다. 그러나 용도지역은 도시구역에 대해서만 구분되어 있기 때문에 대도시에서는 도시의 전면적이 용도지역으로 구분되어 있으나, 지방의 경우에는 도시구역이 협소하므로 용도지역으로 설정된 면적이 행정구역보다 매우 적다. 따라서 용도지역으로 구분되어 있는 면적외의 행정구역에 대해서는 모두 녹지지역으로 분류하여 산정한다. 그런데 용도지역별 면적 자료는 농업지역을 표시하지 않고 있기 때문에 농업지역

면적을 산정하기 위해 지목별 면적자료를 이용한다. 지목은 지적법 제 5조에 의하여 전·답·과수원·목장용지·임야·광천지·염전·대(垓)·공장용지·학교용지·주차장·주유소용지·창고용지·도로·철도용지·제방·하천·구거(溝渠)·유지(溜池)·양어장·수도용지·공원·체육용지·유원지·종교용지·사적지·묘지·중지로 구분하여 정한다. 이 중에서 전, 답, 과수원 면적을 농업지역 면적으로 하였으며, 녹지지역은 농업지역의 증기분만큼 감소시켜 산정한다.

인구밀도는 통계청에서 제공하는 자료를 이용하여 간단히 산정이 가능하다.

2.2.2 취약성 산정방법

취약성의 세부요소로는 지역낙후도 지수와 PFD에서 제시하고 있는 외수 및 내수 방어능력과 댐 및 저수지 즉, 홍수방어시설 능력을 선정하였다.

지역낙후도지수는 한국개발연구원(2000)에서 제시하였으며, 해당지역의 발전·낙후정도를 나타내는 상대적 지표이다. 현재 이용할 수 있는 지역낙후도지수는 시·군별 단위로 전국을 7대 특별·광역시와 9개도로 나누어 170개의 지역으로 산정되어 있고 이 자료를 이용하여 산정한다.

홍수방어시설능력은 PFD의 위험성요소 중 방어능력 세부요소인 개수율지수, 배수펌프장 지수, 댐 및 저수지 지수를 이용한다. 개수율 지수는 %값으로 표시되므로 0~100까지의 지수로 바로 표현 가능하고, 댐 및 저수지지수와 배수펌프장 지수는 대상유역의 존재유무로 판단하였다. 즉, 대상유역에 배수펌프장이 존재할 경우에 배수펌프장 지수는 100, 존재하지 않을 경우에는 0으로 결정한다.

2.3 계층화 분석기법

구성요소와 세부요소들을 이용하여 잠재위험도를 산정하는 데는 각 공식에서 가중계수를 결정하여야 한다. 잠재위험도 가중계수 결정을 위하여 본 연구에서는 계층화 분석기법 (Analytic Hierarchy Process, AHP) 중 일부를 이용하기로 한다.

1970년대 초반, Saaty에 의하여 개발된 계층화 분석과정은 의사결정의 계층구조를 구성하고 있는 요소간의 쌍대비교 (Pairwise comparison)에 의한 판단을 통하여 평가자의 지식, 경험 및 직관을 포착하고자 하는 의사결정방법론이며, 기존의 의사결정 체계에서 보면 다속성의사결정의 선호보정이 있는 모형으로 분류할 수 있다.

AHP기법은 의사결정자의 경험이나 지식이 주어진 문제에 사용되는 데이터 못지않게 중요한 가치를 지니고 있다는 사고에 토대를 두고 있기 때문에 수치로 표현할 수 있는 정량적 평가기준은 물론 흔히 의사결정문제에서 다루기 곤란하면서도 반드시 고려하지 않으면 안될 정성적 평가기준들도 비교적 쉽게 처리할 수 있다. 때문에 AHP 기법은 최근 가장 많이 이용되고 있는 의사결정기법의 하나로 평가받고 있다.

실제로 의사결정과 관련된 문제를 해결하기 위하여 AHP를 사용하는 경우, 일반적으로 다음과 같은 네 단계의 작업이 수행된다.

표 1. 쌍대비교의 기본척도(Saaty, 1980)

중요정도	정의
1	같음
3	약간 중요함
5	중요함
7	극히 중요함
9	절대적으로 중요함

2, 4, 6, 8은 각각 중간정도의 중요도를 추정한다.

[단계 1] 의사결정 문제를 상호관련된 의사결정 사항들의 계층으로 분류하여 의사결정계층을 설정한다.

[단계 2] 의사결정 요소들 간의 쌍대비교로 판단자료를 수집한다.

[단계 3] 의사결정 속성들의 상대적 가중계수를 추정한다.

[단계 4] 평가대상이 되는 여러 대안들에 대한 종합순위를 얻기 위하여 의사결정 속성들간의 상대적인 가중계수를 종합화한다.

3. 기왕최대강우량을 이용한 설계빈도 결정방법

설계빈도를 결정하기 위해서는 먼저, 대상유역의 노출성과 취약성을 산정하고 대상유역의 잠재위험도 값을 산정한다. 또한 대상유역에서 장기간의 강우량자료를 확보할 수 있는 강우관측소를 선정하여 빈도별 확률강우량을 산정하고, 기왕 최대강우량에 해당하는 확률강우량의 빈도를 결정한다. 이 빈도를 잠재위험도 최대값, 즉 100으로 결정하고, 1년 빈도의 잠재위험도를 최소값, 즉 0으로 결정한 후, 0부터 100까지 잠재위험도를 빈도에 대한 회귀식을 산정한다. 회귀식의 형태는 빈도별 확률강우량의 회귀식 형태와 동일한 형태를 취하여 결정하고, 회귀식이 산정되면 대상유역의 잠재위험도 값을 이용하여 설계빈도를 결정할 수 있다.

4. 홍수피해발생 잠재위험도와 설계빈도 산정을 위한 적용

4.1 대상유역

대상유역은 유역면적 286 km², 유로연장은 32.5 km로 유역평균폭이 8.8 km인 중규모 하천으로, 서울시 및 경기도 두 개의 광역자치단체에 걸쳐 위치하고 있으며, 서울특별시에는 강서구, 구로구, 영등포구, 관악구, 금천구, 동작구, 양천구 등 7개구의 일부 및 전부를 포함하고 있으며, 경기도에는 부천시, 안양시, 의왕시, 과천시, 시흥시, 광명시, 군포시 등 7개시의 일부 및 전부를 포함하고 있는 안양천 유역이다. 토지이용은 도시지역과 임야가 약 79%로 대부분을 차지하고 있는 유역이고, 수도권에 위치한 유역의 지역적인 특성으로 인해 유역이 하류부는 대부분 극도로 밀집한 도심지역이며 중류부 및 상류부는 하천연변을 따라 도시 및 주거지가 밀집되어있다. 강우량 자료이용을 위한 강우관측소는 서울관측소와 수원관측소를 선정하였으며 대상유역에서 잠재위험도와 설계빈도를 결정할 산정단위는 시·군·구 단위로 하였다.

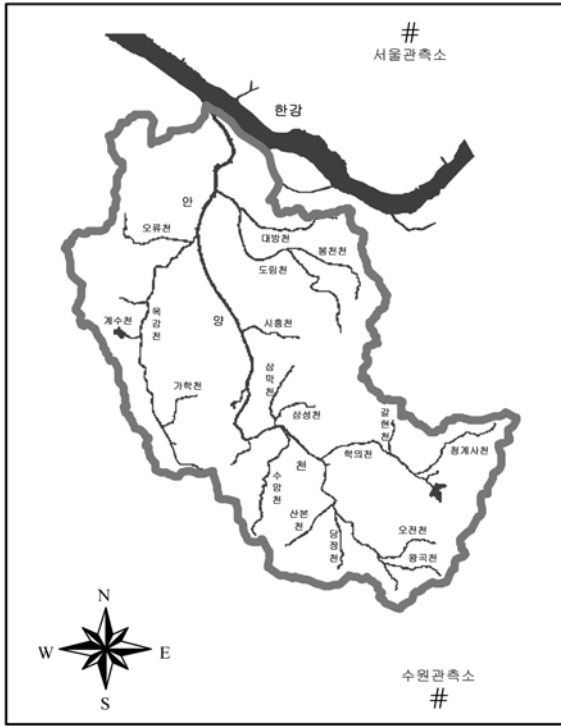


그림 1. 안양천 유역도

4.2 가중계수 산정

쌍대용 비교를 위한 행렬을 만들기 위하여 설문조사를 실시하였으며, 각 평가기준에 대한 쌍대용 비교는 Saaty의 9점 척도로 중요도를 부여하였다. 개별 구성원들의 평가자료를 종합하는 방법으로는 기하평균법을 이용하였다. 또한 설문자의 판단에 일관성 평가하기 위해 일관성지수(Consistency Index, CI)와 일관성 비율(Consistency Ratio, CR)을 이용한다.

$$CI = (\lambda_{max} - n) / (n - 1)$$

$$CR = CI / RI$$

여기서 n은 대안의 개수이고 RI는 <표 2>를 이용하여 산정한다.

일관성지수를 구하는데 필요한 쌍대용 비교행렬의 최대고유치(λ_{max})는 근사적인 계산방법인 멱승법을 이용하였고, 일관성비율이 0.1을 넘지 않는 경우에만 판단에 일관성이 있다고 판단할 수 있다.

표 2. Reciprocal Matrix에 대한 평균 RI

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
RI	0	0	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49	1.51	1.48	1.56	1.57	1.59

표 3. 설문결과에 대한 일관성비율(CR) 산정결과

설문번호	CR	설문번호	CR	설문번호	CR	설문번호	CR	설문번호	CR
1	0.063	7	0.016	13	0.093	19	0	25	0.061
2	0	8	0	14	0.483	20	0.081	26	0.046
3	0.046	9	0.046	15	3.592	21	0.081		
4	0.046	10	3.659	16	0.046	22	0		
5	0.046	11	0.005	17	0.016	23	0.093		
6	0.016	12	0.033	18	0.063	24	0.016		

표 4. AHP기법을 이용한 가중계수 산정결과

구분	속성	가중계수
잠재위험도	노출성 α	0.52
	취약성 β	0.48
노출성	인구밀도 α_E	0.84
	공시지가 β_E	0.16
취약성	지역낙후도 α_V	0.24
	홍수방어능력 β_V	0.76
홍수방어능력	댐 및 저수지 α_H	0.54
	배수펌프장 β_H	0.16
	하천개수율 γ_H	0.30

설문조사는 박사학위 소지자나 실무경험이 풍부한 전문가 26명을 대상으로 하였고, 일관성비를 초과수는 3명으로 적용시 제외하였으며, 가중계수 산정결과는 <표 4>와 같다.

4.3 잠재위험도 산정

4.3.1. 노출성 산정

노출성을 산정하기 위한 세부요소는 인구밀도와 공시지가이며, 시·군·구별 인구밀도와 공시지가 평균치를 이용하였다. 공시지가지수를 산정하기 위하여 먼저 표준지 공시지가 수준표 자료와 용도지역별 면적 자료로 용도지역별 지가총액을 산정한 후, 전국에 대한 시·군·구별 평균 공시지가를 산정하였다. 이 자료의 최대치를 100, 최소치를 0, 전국평균값을 50으로 정하고 회귀식을 구하면 전국에 대한 공시지가지수를 산정할 수 있고, 이를 이용하여 대상구역의 공시지가 지수를 산정하였다.

4.3.2 취약성 산정

취약성을 산정하는 방법도 설계빈도를 이용한 잠재위험도 산정방법과 동일한 방법으로 산정한다. 지역낙후도 지수는 시·군단위로 산정된 지역낙후도 순위 값을 이용하였다. 전체 순위가 1위인 지역은 지역낙후도 지수를 0으로 하고, 170위인 지역의 지역낙후도 지수를 100으로 하면 선형회귀식이 산정되고 이에 따라 지역낙후도 지수를 산정하였다. 본 연구에서는 지역낙후도 지수 순위를 이용하여 산정하였다. 산정과정은 <표 8>, <표 9>, <표 10>, <표 11>과 같다.

표 5. 대상지역 공시지가 지수 산정결과

행정구역	총면적 (km ²)	용도지역별 지가총액 (억원)							평균 (원)	공시지가 지수
		주거	상업	공업	농업	녹지	미지정			
서울특별시	강서구	41.40	15,086	155,349	26,550	19,361	8,059	0	5,420	82.14
	관악구	29.57	8,050	142,311	0	376	15,522	0	56,2258	82.57
	구로구	20.12	8,562	74,614	96,870	2,272	1,130	0	911,770	88.28
	금천구	13.37	3,240	63,288	55,022	339	1,462	0	9,226	88.41
	동작구	16.35	4,971	177,388	0	0	563	0	1,118,793	90.69
	양천구	17.41	11,674	134,062	1,838	478	2,552	0	8,650	87.65
	영등포구	24.56	50,748	68,676	145,497	0	0	0	1,078,669	90.26
경기도	과천시	35.85	78,431	322,470	0	9,934	763	0	7,699	86.28
	광명시	38.51	45,701	185,007	26,967	20,501	1,907	0	4,787	80.67
	군포시	36.39	37,550	129,485	29,831	5,011	470	24,426	502	54.05
	부천시	53.46	5,727	73,883	26,375	13,614	11,791	5,644	199	43.15
	시흥시	134.40	3,011	40,441	588	29,225	13,250	1,849	205	43.47
	안양시	58.52	3,842	38,482	11,550	5,201	11,971	0	1,317	65.44
	의왕시	53.96	5,345	101,942	1,285	11,327	5,317	3,579	280	47.17

표 6. 대상지역 인구밀도 지수 산정결과 (단위 : 명/km²)

시도	시·군·구	인구밀도	인구밀도지수
서울특별시	강서구	28,600.11	100.00
서울특별시	관악구	25,317.79	98.06
서울특별시	구로구	13,158.50	89.12
서울특별시	금천구	21,120.09	95.58
서울특별시	동작구	16,933.59	92.56
서울특별시	양천구	16,259.36	92.01
서울특별시	영등포구	20,449.42	95.14
경기도	과천시	1,970.46	63.18
경기도	광명시	8,764.373	83.57
경기도	군포시	7,603.187	81.63
경기도	부천시	15,948.41	91.75
경기도	시흥시	2,831.5	68.13
경기도	안양시	10,396.94	85.90
경기도	의왕시	2,677.131	67.37

표 8. 지역낙후도 지수 산정결과

행정구역	지역낙후도	지역낙후도 순위	지역낙후도 지수	
서울특별시	강서구	2.933	1	0
서울특별시	관악구	2.933	1	0
서울특별시	구로구	2.933	1	0
서울특별시	금천구	2.933	1	0
서울특별시	동작구	2.933	1	0
서울특별시	양천구	2.933	1	0
서울특별시	영등포구	2.933	1	0
경기도	과천시	1.031	19	10.65
경기도	광명시	0.939	22	12.43
경기도	군포시	1.521	9	4.73
경기도	부천시	2.219	2	0.59
경기도	시흥시	1.637	7	3.55
경기도	안양시	1.702	6	2.96
경기도	의왕시	0.715	33	18.93

표 7. 대상지역 노출성 산정결과

행정구역명	인구밀도 지수	공시지가 지수	노출성	
서울특별시	강서구	100.00	82.14	91.82
서울특별시	관악구	98.06	82.57	85.05
서울특별시	구로구	89.12	88.28	88.41
서울특별시	금천구	95.58	88.41	89.56
서울특별시	동작구	92.56	90.69	90.99
서울특별시	양천구	92.01	87.65	88.35
서울특별시	영등포구	95.14	90.26	91.04
경기도	과천시	63.18	86.28	82.58
경기도	광명시	83.57	80.67	81.13
경기도	군포시	81.63	54.05	58.46
경기도	부천시	91.75	43.15	50.93
경기도	시흥시	68.13	43.47	47.42
경기도	안양시	85.90	65.44	68.71
경기도	의왕시	67.37	47.17	50.40

표 9. 홍수방어능력 지수 산정결과

행정구역명	댐 및 저수지	배수 펌프장	하천 개수율	홍수방어 능력 지수	
서울특별시	강서구	X	100	100	0
서울특별시	관악구	X	0	100	43
서울특별시	구로구	X	100	100	0
서울특별시	금천구	X	100	100	0
서울특별시	동작구	X	100	100	0
서울특별시	양천구	X	100	100	0
서울특별시	영등포구	X	100	100	0
경기도	과천시	X	0	100	43
경기도	광명시	100	100	100	0
경기도	군포시	X	0	65.34	62.76
경기도	부천시	X	0	100	43
경기도	시흥시	100	0	97.88	16.64
경기도	안양시	X	100	100	0
경기도	의왕시	100	0	68.37	25.49

표 10. 대상지역 취약성 산정결과

행정구역명		지역낙후도 지수	홍수방어능 력 지수	취약성
서울특별시	강서구	0	0	0
서울특별시	관악구	0	43	32.68
서울특별시	구로구	0	0	0
서울특별시	금천구	0	0	0
서울특별시	동작구	0	0	0
서울특별시	양천구	0	0	0
서울특별시	영등포구	0	0	0
경기도	과천시	10.65	43	35.24
경기도	광명시	12.43	0	2.98
경기도	군포시	4.73	62.76	48.83
경기도	부천시	0.59	43	32.82
경기도	시흥시	3.55	16.64	13.50
경기도	안양시	2.96	0	0.71
경기도	의왕시	18.93	25.49	23.92

표 11. 대상지역 잠재위험도 산정결과

행정구역명		노출성	취약성	잠재위험도
서울특별시	강서구	91.82	0	47.75
서울특별시	관악구	85.05	32.68	59.91
서울특별시	구로구	88.41	0	45.98
서울특별시	금천구	89.56	0	46.57
서울특별시	동작구	90.99	0	47.31
서울특별시	양천구	88.35	0	45.94
서울특별시	영등포구	91.04	0	47.34
경기도	과천시	82.58	35.24	59.86
경기도	광명시	81.13	2.98	43.62
경기도	군포시	58.46	48.83	53.84
경기도	부천시	50.93	32.82	42.24
경기도	시흥시	47.42	13.50	31.13
경기도	안양시	68.71	0.71	36.07
경기도	의왕시	50.40	23.92	37.69

표 12. 서울관측소 빈도별 확률강우량 (단위 : cms)

빈도 (년)	지속시간					
	1	2	3	6	12	24
5	65.8	96.7	116.2	150.7	186.4	232
10	77.7	113.5	137.2	177.6	219.2	280.2
20	89.1	129.5	157.2	203.3	250.7	326
30	95.6	138.8	168.7	218.1	268.8	352.5
50	103.9	150.4	183.2	236.6	291.5	385.3
80	111.3	160.9	196.4	253.6	312.2	415.6
100	114.9	165.9	202.6	261.7	322	429.8
150	121.4	175	213.9	276.1	339.9	455.8
200	125.9	181.4	222	286.5	352.5	474.1
500	140.4	201.9	247.6	319.3	392.6	532.6

4.4 설계빈도 결정

각 지속시간별 빈도별 확률강우량 분석을 위해 서울관측소

표 13. 수원관측소 빈도별 확률강우량

(단위 : cms)

빈도 (년)	지속시간					
	1	2	3	6	12	24
5	55.43	81.29	102.45	139.64	185.13	233.06
10	64.8	96.07	122	166.36	221.46	281.18
20	73.77	110.25	140.75	192	256.32	327.35
30	78.94	118.4	151.54	206.75	276.37	353.9
50	85.4	128.6	165.03	225.18	301.43	387.1
80	91.31	137.93	177.37	242.05	324.38	417.49
100	94.11	142.35	183.22	250.05	335.24	431.88
150	99.18	150.37	193.82	264.55	354.96	457.99
200	102.78	156.05	201.34	274.82	368.93	476.49
500	114.23	174.12	225.25	307.51	413.37	535.35

표 14. 지속시간별 기왕최대강우량 자료

지속시간	서울관측소		수원관측소	
	연도	최대치 (mm)	연도	최대치 (mm)
1	2000	104.4	1965	138.0
2	2000	143.8	2001	154.0
3	1991	185.7	2001	208.0
6	2000	233.0	2001	263.3
12	1990	337.1	1998	365.2
24	1972	453.8	1972	446.8

에서는 1961년부터 2001년까지 총 41개년, 수원관측소에서는 1964년부터 2001년까지 총 38개년에 대하여 1시간~24시간 등 총 6개 지속시간의 연최대 강우량을 수집하였다. 수집된 자료를 이용하여 확률강우분석을 실시하였으며, 그 결과 확률가중모멘트법에 의한 적합도 검정결과 적정분포형은 Gumbel 분포로 선정하였다. 지속시간별 확률강우량 산정은 행정자치부(2002)에서 배포한 “FARD2002” 프로그램을 이용하였으며, 전술한 바와 같이 각 분포형에 대한 적합도 검정을 통하여 채택되어진 확률가중모멘트법에 의한 Gumbel분포에 의하여 각 지속시간별로 5년, 10년, 20년, 30년, 50년, 80년, 100년, 150년, 200년 및 500년 10개 빈도에 대하여 산정하였다. 산정결과는 <표 12>, <표 13>과 같다.

<표 14>와 같이 지속시간별 기왕최대강우량이 결정되면 <표 12>와 <표 13>을 이용하여 잠재위험도가 100인 빈도를 결정할 수 있다. 즉, 지속시간 24시간을 기준으로 할 때 서울관측소와 수원관측소의 기왕최대강우량의 경우 모두 150년 빈도의 확률강우량과 가장 근사하므로 잠재위험도가 100인 빈도를 150년으로 결정한다. 잠재위험도가 0인 빈도는 1년이므로, 잠재위험도의 최소값과 최대값을 이용하여 빈도에 대한 회귀식을 산정할 수 있다. 빈도에 대한 잠재위험도 회귀식의 형태는 빈도별 확률강우량의 함수식 형태를 이용하여 결정한다. 즉, 회귀식의 형태는 빈도별 확률강우량의 형태(본 연구에서는 log 형태)를 기본으로 하고, 잠재위험도가 0일때 설계빈도는 1년, 잠재위험도가 100일 때 설계빈도는 150년이라는 두 값을 이용하여 계수를 적절히 조정하면서 최종적으로 회귀식을 결정할 수 있다. 본 연구에서의 회귀식 산정결과는 <그림 2>와 같고, 이 회귀식을 이용하면 앞서

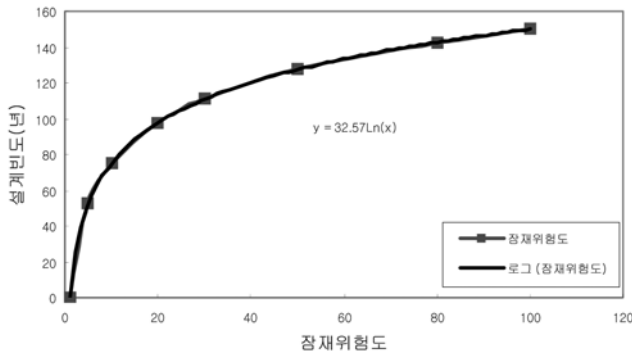


그림 2. 빈도에 대한 잠재위험도 회귀식

표 15. 잠재위험도를 이용한 설계빈도 결정 결과

행정구역명	잠재위험도	설계빈도(년)	
서울특별시	강서구	47.75	125.91
	관악구	59.91	133.30
	구로구	45.98	124.68
	금천구	46.57	125.10
	동작구	47.31	125.62
	양천구	45.94	124.66
	영등포구	47.34	125.63
경기도	과천시	59.86	133.28
	광명시	43.62	122.97
	군포시	53.84	129.82
	부천시	42.24	121.92
	시흥시	31.13	111.99
	안양시	36.07	116.78
	의왕시	37.69	118.21

산정된 잠재위험도(<표 11>)에 해당하는 빈도값, 즉 설계빈도를 산정할 수 있으며, 그 결과는 <표 15>와 같다.

4.5 결과분석

본 연구에서 제시한 홍수피해발생 잠재위험도 산정방안의 타당성 검증을 위하여 건설교통부(2004)가 실시한 안양천유역종합치수계획에서 안양천유역에 대하여 산정된 PFD 결과와 비교하여 보았다. PFD는 0~1까지의 지수로 표현되고 잠재위험도는 0~100까지의 지수로 표현되기 때문에 <표 16>

표 16. PFD와 잠재위험도 산정결과의 비교

행정구역	편입면적(km ²)	PFD	잠재위험도	
서울특별시	강서구	5.18	0.59	0.48
	관악구	26.44	0.70	0.60
	구로구	22.74	0.65	0.46
	금천구	13.64	0.59	0.47
	동작구	6.15	0.59	0.47
	양천구	14.82	0.59	0.46
	영등포구	12.89	0.62	0.47
경기도	과천시	6.10	0.37	0.60
	광명시	39.04	0.58	0.44
	군포시	17.00	0.48	0.54
	부천시	8.69	0.65	0.42
	시흥시	14.49	0.42	0.31
	안양시	56.39	0.56	0.36
	의왕시	42.44	0.42	0.38

과 같이 본 연구에서 산정된 잠재위험도를 PFD와 동일한 지표로 환산하였다. <그림 3>을 보면 산정된 잠재위험도 값과 PFD는 대체적으로 비슷한 양상을 가지는 것으로 판단되지만 잠재위험도가 PFD에 비하여 전체적으로 약간 작게 산정되었고, 경기도 과천시와 군포시를 제외하고는 거의 비슷한 경향을 보이고 있음을 알 수 있다.

<표 17>은 잠재위험도를 산정하기 위하여 필요한 가중계수 값을 앞서 기술한 바와 같이 AHP로 산정하였을 경우와 AHP를 이용하지 않고 0.5로 하였을 경우, 즉 모든 세부요소의 중요도가 동일하다는 가정하에서 산정된 결과의 차이를 보여주고 있다. 서울특별시의 경우에는 관악구를 제외한 전 지역의 취약성이 0으로 산정되어 AHP를 이용하여 산정한 잠재위험도가 좀 더 큰 값을 보여주고 있다. 하지만 경기도지역의 경우에는 취약성이 0인 지역이 없고 대체로 큰 값을 가지기 때문에 과천시, 군포시를 제외하고는 AHP를 이용하여 산정한 잠재위험도가 더 작은 값을 가지는 것을 알 수 있다. PFD와 잠재위험도는 기본적으로 산정을 위한 세부요소가 다르기 때문에 유사한 값을 가질 수는 없으나, 본 연구에서는 일부 지역을 제외하고는 대체적으로 비슷

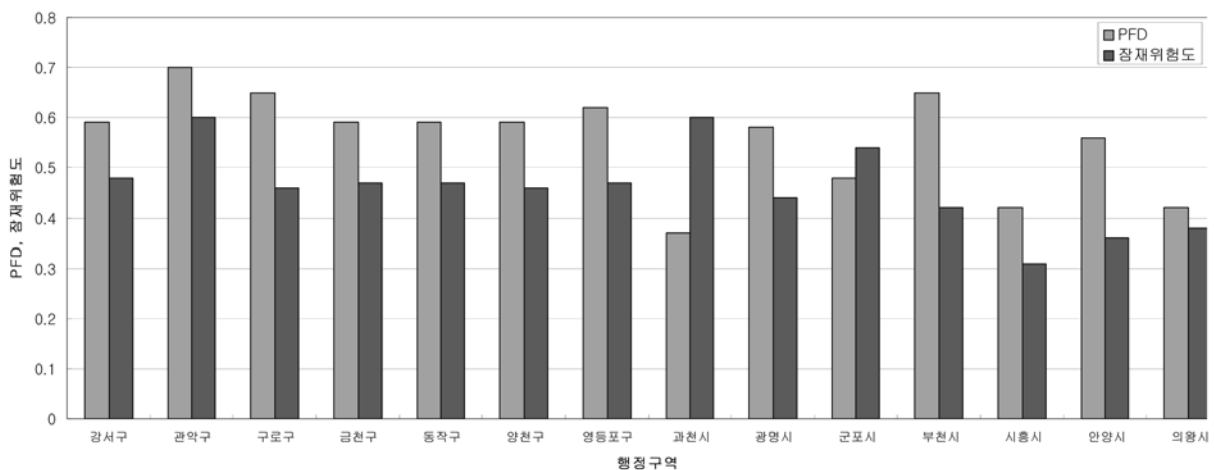


그림 3. PFD와 잠재위험도의 비교

표 17. 가중계수에 따른 산정결과 비교

행정구역	노출성		취약성		잠재위험도		
	AHP	0.5	AHP	0.5	AHP	0.5	
서울특별시	강서구	91.82	95.13	0	0.00	47.75	47.57
	관악구	85.05	90.32	32.68	25.00	59.91	57.66
	구로구	88.41	88.70	0	0.00	45.98	44.35
	금천구	89.56	92.00	0	0.00	46.57	46.00
	동작구	90.99	91.63	0	0.00	47.31	45.81
	양천구	88.35	89.83	0	0.00	45.94	44.92
	영등포구	91.04	92.70	0	0.00	47.34	46.35
경기도	과천시	82.58	74.73	35.24	30.33	59.86	52.53
	광명시	81.13	82.12	2.98	6.21	43.62	44.17
	군포시	58.46	67.84	48.83	36.03	53.84	51.94
	부천시	50.93	67.45	32.82	25.30	42.24	46.37
	시흥시	47.42	55.80	13.5	27.31	31.13	41.55
	안양시	68.71	75.67	0.71	1.48	36.07	38.57
	의왕시	50.40	57.27	23.92	42.37	37.69	49.82

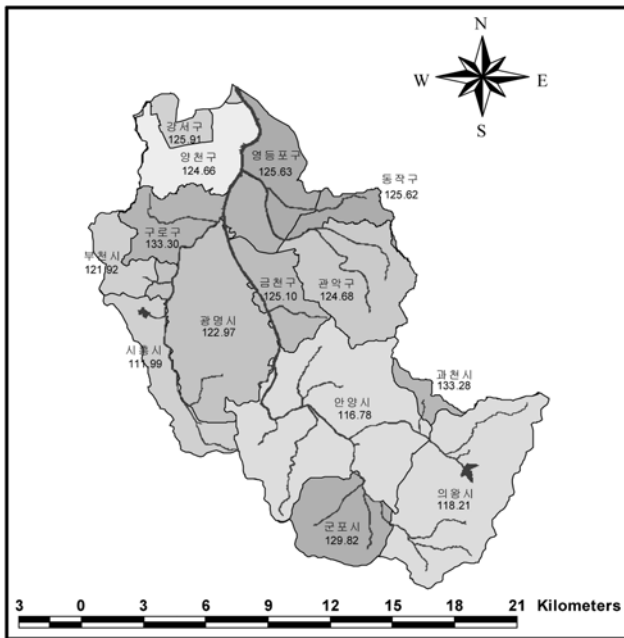


그림 4. 기왕최대강수량을 이용한 설계빈도 산정결과

경향을 보이는 것으로 판단된다.

기존의 설계빈도는 하천에 대하여서만 제공하였고, 유역에 대한 설계빈도의 개념은 존재하지 않았다. 하천의 설계빈도를 참고로 하여 하천의 영향을 받는 유역의 계획을 수립하고 있다. 본 연구에서는 기왕최대강수량을 이용하여 대상유역에 대한 설계빈도를 결정할 수 있는 기법을 제시하였다. <그림 4>와 같이 대상유역에 대하여 시·군·구단위로 설계빈도를 산정하였다. 산정된 설계빈도의 타당성 검증에 위해 하천의 설계빈도를 이용할 수 있지만, 앞서 언급한 바와 같이 기존의 설계빈도는 하천의 규모 등에 따라 제시되어 있기 때문에 본 연구에서 제시한 유역에 대한 설계빈도와 직접적인 비교는 어렵다. 기존의 설계빈도는 국가하천 주요구간은 설계빈도가 200년 이상, 국가하천은 100년~200년, 지방 1급 하천은 80년~100년, 지방 2급 하천은 50년~100년으로

제시되어 있다. 본 연구에서 산정한 설계빈도는 대략 100년~150년사이의 값이므로 현재 제시되어 있는 설계빈도와 큰 차이는 없으나 안양천 본류구간은 국가하천 주요구간이므로 이 구간에 대해서는 약간의 차이를 보임을 알 수 있다.

설계빈도는 하천정비 계획이나, 시설물 설치등의 기준이 되기 때문에 자주 변경될 수 없다. 그러나 본 연구에서 제시한 방법을 이용할 경우 설계빈도는 기왕최대강수량이 수정될 때마다 변경되기 때문에 문제점을 안고 있다. 이것은 기왕최대강수량을 잠재위험도가 100이라는 값으로 결정하여 발생하기 때문에 기왕최대강수량에 어느 정도의 안전율을 고려하여 잠재위험도 100으로 결정하여야 할 것으로 판단되며, 현재 이에 대한 연구가 진행중에 있다.

5. 결 론

현재 우리나라에서는 유역종합치수계획 수립을 위해 이용되는 치수안전도는 홍수피해잠재능(Potential Flood Damage, PFD)을 이용하여 결정하고 홍수에 취약한 지역을 구분하고 있으나 PFD는 설계빈도와 같은 확률빈도와 연계성이 없다는 문제점이 있다. 따라서 본 연구에서는 PFD와 같은 개념을 가지고 있으며 면개념의 치수안전도, 선개념의 빈도로 표현가능한 홍수피해발생 잠재위험도(Potential Risks of Flood Damage, PRFD) 산정 방안을 제시하였다. 즉, 설계빈도와 연계성이 없는 PFD의 문제점을 개선하기 위하여 홍수피해발생 잠재위험도가 설계빈도와 연계성을 가질 수 있도록 하는 방법론을 제안하고 분석을 수행하였다. 이를 바탕으로 안양천 유역에 대한 적용 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 본 연구에서는 홍수피해발생 잠재위험도라는 개념을 정의하고 이를 산정하기 위한 방법론을 제시하였다. 잠재위험도는 위험성, 노출성, 취약성의 3가지 세부요소로 산정할 수 있고, 위험성은 지속기간별 빈도별 확률강우량 등으로 표현가능하며, 노출성은 인구밀도지수와 공시지가지수, 취

- 약성은 지역낙후도지수와 홍수방어능력지수로 구성하였다.
2. 잠재위험도 산정을 위하여 필요한 총 9개의 가중계수를 결정하기 위하여 본 연구에서는 전문가들에 대한 설문조사결과를 이용한 AHP기법을 이용하였다. 그 결과 모든 가중계수를 0.5로 하였을 경우와 비교하였을 때 좀 더 적절한 잠재위험도가 산정되었다고 판단된다.
 3. 기존에 이용되고 있는 홍수피해잠재능(PFD)은 빈도와 연계성이 없기 때문에 본 연구에서는 기왕최대강수량과 빈도별 확률강우량을 이용하여 잠재위험도와 설계빈도와의 관계를 설정하는 기법을 제시하였다. 기왕최대강수량을 이용하여 빈도를 결정하는 기법은 강수량 자료와 대상구역의 통계자료만으로 설계빈도를 결정할 수 있기 때문에 간단한 절차에 의하여 산정이 가능하였다.
 4. 제시된 방법론에 의하여 잠재위험도를 산정하고 이에 따른 설계빈도를 시·군·구 단위로 추정하였다. 즉, 안양천유역의 서울특별시 7개구, 경기도 7개시에 대하여 잠재위험도를 산정하고 이를 기왕최대강수량과 연계하여 설계빈도를 결정하였다. 건설교통부(2002b, 2004)에 따르면 안양천의 기존 설계빈도는 본류구간에서는 200년, 지류구간에서는 50년에서 100년 사이로 정하고 있으나, 본 연구에서는 안양천유역 전체에 대하여 약 110년에서 130년 정도의 설계빈도가 결정되었다. 안양천 하류부에 위치한 서울특별시의 설계빈도가 120년 이상으로 약간 더 높게 산정되었고 상류부의 설계빈도가 110년에서 120년 정도로 더 작게 산정되어 결과는 일반적인 기준에 적합한 것으로 판단된다.

앞으로 잠재위험도 산정기법에 대한 추가적인 수정보완이 이루어진다면 대상유역에 대한 보다 정확한 잠재위험도를 산정할 수 있을 것으로 판단되며 이를 이용하여 실무에서 이용가능한 설계빈도를 결정할 수 있을 것으로 기대된다.

감사의 글

본 연구는 건설교통부가 출연하고 한국건설교통기술평가원에서 위탁시행한 2003년도 건설핵심기술연구개발사업 (03산학연C03-01)에 의한 도시홍수재해관리기술연구사업단의 연구성과입니다.

참고문헌

- 건설교통부(1999) 사회기반시설 홍수방어능력 평가기법 개발, pp.165-203.
- 건설교통부(2000) 수자원 장기종합계획
- 건설교통부(2001) 유역종합치수계획지침작성
- 건설교통부(2002a) 하천시설물 설계시 신뢰도 분석 개념 도입에 관한 연구
- 건설교통부(2002b) 하천설계기준
- 건설교통부(2004) 안양천 유역종합치수계획 보고서
- 한국개발연구원(2000) 예비타당성조사 수행을 위한 다기준분석방안 연구
- 한국수자원공사(2001) 치수안전도 지표설정 및 사례연구 보고서
- 김정훈, 김영오(2003) 홍수피해잠재능 개선방안, 대한토목학회 정기학술대회 논문집, pp.2373-2378.
- 박호상, 심우배, 송재우(2003) 돌발홍수 발생시 도시하천의 치수 안전도 분석, 한국도시방재학회지, 한국도시방재학회, pp. 125-132.
- 안재현, 강두선, 윤용남(2005) 홍수피해잠재능 산정의 개선방안 연구, 대한토목학회 정기학술대회 논문집, pp. 2656-2659.
- 정성원, 이대희, 문용주, 김규호(2001). 홍수피해잠재능(PFD) 평가, 한국수자원학회 학술발표회 논문집(I), pp. 601-606.
- Kron, W. (2002) Flood Risk = Hazard×Exposure×Vulnerability, Flood Defence.
- Saaty, T.L. (1980) The Analytic Hierarchy Process, McGraw-Hill, New York, NY.

(접수일: 2006.1.24/심사일: 2006.4.10/심사완료일: 2006.7.3)

잠재위험도 세부요소 가중치결정을 위한 설문 -AHP평가 -

다음 설문은 각각의 평가기준에 있어서 어느 기준이 상대적으로 얼마만큼 중요한지를 알고자 하는 설문입니다.

EX) ‘월드컵 4강의 원인’이라는 평가기준 측면에서 볼 때 ‘대표팀 경기력’과 붉은 악마의 응원 ‘중’ 대표팀 경기력이 ‘붉은 악마의 응원’보다 매우 중요하다고 판단되시면 다음과 같이 빨간 동그라미로 된 번호 ⑨를 지워주시기 바랍니다.

평가항목	매우 중요			중요			약간 중요		같다		약간 중요			중요			매우 중요	평가항목
대표팀 경기력	⑨	⑧	⑦	⑥	⑤	④	③	②	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	붉은악마 응원

I. 잠재위험도의 관점에서 볼 때 노출성과 취약성의 중요도를 선택하여 주십시오.

평가항목	매우 중요			중요			약간 중요		같다		약간 중요			중요			매우 중요	평가항목
노출성	⑨	⑧	⑦	⑥	⑤	④	③	②	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	취약성

II. 노출성의 관점에서 볼 때 인구밀도와 공시지가의 중요도를 선택하여 주십시오.

평가항목	매우 중요			중요			약간 중요		같다		약간 중요			중요			매우 중요	평가항목
인구밀도	⑨	⑧	⑦	⑥	⑤	④	③	②	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	공시지가

III. 취약성의 관점에서 볼 때 지역낙후도와 홍수방어능력의 중요도를 선택하여 주십시오.

평가항목	매우 중요			중요			약간 중요		같다		약간 중요			중요			매우 중요	평가항목
지역 낙후도	⑨	⑧	⑦	⑥	⑤	④	③	②	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	홍수방어능력

IV. 홍수방어능력의 관점에서 볼 때 댐 및 저수지, 배수펌프장과 하천개수율의 중요도를 각각 선택하여 주십시오.

평가항목	매우 중요			중요			약간 중요		같다		약간 중요			중요			매우 중요	평가항목
댐 및 저수지	⑨	⑧	⑦	⑥	⑤	④	③	②	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	배수펌프장
댐 및 저수지	⑨	⑧	⑦	⑥	⑤	④	③	②	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	하천개수율
배수 펌프장	⑨	⑧	⑦	⑥	⑤	④	③	②	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	하천개수율

표 1. AHP 설문 결과

답변자	질문번호	1번	2번	3번	4번		
					4-1	4-2	4-3
1		3	6	3	9	8	7
2		4	3	-3	2	2	1
3		5	6	-5	7	7	2
4		6	9	6	8	8	6
5		6	6	1	6	1	1
6		1	3	-6	6	3	-3
7		6	9	-9	9	1	-6
8		-6	4	-6	6	6	1
9		-9	6	-9	-6	-6	-2
10		-7	7	-8	-8	7	-4
11		6	7	-8	5	4	1
12		-6	7	-7	9	1	-5
13		1	3	3	4	-4	-6
14		-9	9	-9	9	9	-9
15		6	-6	-6	6	-6	6
16		1	6	3	-3	-6	-6
17		-6	6	-6	6	3	-3
18		-6	6	-6	6	8	7
19		6	1	-6	-6	-6	1
20		3	9	-6	6	6	-6
21		-9	5	-6	7	5	-6
22		1	6	-6	-5	-5	1
23		-9	9	-6	9	6	-8
24		6	6	-6	6	-2	-3
25		-6	9	-8	9	7	-9
26		6	1	1	6	6	-6

¹⁾설문지에서 좌측 숫자를 선택한 경우에는 양수로 우측 숫자를 선택한 경우에는 음수로 나타내었음.